

**STUDI TENTANG PENINGKATAN EFISIENSI ENERGI
MELALUI OPTIMALISASI SISTEM UDARA TERKOMPRESI
DAN INTEGRASI PANEL SURYA DI INDUSTRI KEMASAN
FARMASI**

TESIS

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister Teknik dari
Universitas Darma Persada**

Oleh

ARIEF CANDRA

NIM : 2023910010

(Program Studi Magister Teknik Energi Terbarukan)



**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS DARMA PERSADA
JAKARTA**

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

"Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis ini merupakan hasil karya sendiri dan sepanjang pengetahuan dan keyakinan saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagian bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Darma Persada atau Perguruan tinggi lainnya"

Jakarta, 11 Juli 2025



Arief Candra

NIM : 2023-91-0010

ABSTRAK

ARIEF CANDRA (202391010). Studi Tentang Peningkatan Efisiensi Energi Melalui Optimalisasi Sistem Udara Terkompresi Dan Intergrasi Panel Surya di Industri Kemasan Farmasi. Di bawah bimbingan Dr. Aep Saepul Uyun, S.Tp., M.Eng., Ir. Erkata Yandri, M.Sc.rer.nat dan Dr. Muhammad Syukri Nur, M.Si.

Industri pengemasan farmasi menghadapi tantangan signifikan dalam mencapai operasi yang berkelanjutan dan hemat biaya. Studi ini menginvestigasi potensi peningkatan efisiensi energi dan integrasi energi terbarukan di dalam sektor ini, dengan fokus khusus pada optimalisasi sistem udara terkompresi (Compressed Air System, CAS) dan integrasi teknologi fotovoltaik (PV) surya di sebuah pabrik manufaktur pengemasan farmasi di Bekasi, Jawa Barat, Indonesia. Penelitian ini dilakukan selama periode dua tahun, dari September 2021 hingga September 2023.

Lokasi studi dipilih karena konsumsi energinya yang tinggi dan ketergantungannya pada CAS, yang ditemukan menyumbang sekitar 36% dari total konsumsi listrik. Analisis mendalam terhadap CAS mengidentifikasi pengering udara (air dryer), karena operasinya yang berkelanjutan. Akibatnya, studi ini juga berfokus pada pengintegrasian sistem PV surya yang terhubung ke jaringan untuk mengimbangi konsumsi listrik pengering udara. Pengumpulan data melibatkan pemantauan berkelanjutan terhadap konsumsi energi, tekanan udara, dan jam operasional mesin.

Implementasi langkah-langkah efisiensi energi di dalam CAS, ditambah dengan integrasi PV surya, menghasilkan hasil yang positif. Penurunan sebesar 4% dalam Konsumsi Daya Spesifik (SPC) dari CAS tercapai, menurun dari 5,88 kW/m³/menit menjadi 5,65 kW/m³/menit. Lebih lanjut, konsumsi energi keseluruhan dari CAS berkurang sebesar 23%, dari 472.402 kWh menjadi 364.597 kWh per tahun. Sistem PV surya yang ditargetkan pada pengering udara (Air Dryer), berkontribusi pada perkiraan penghematan biaya sebesar Rp 4,3 juta per bulan atau Rp 51,6 juta per tahun, dengan menurunkan ketergantungan pada listrik dari jaringan. Selain itu, studi ini memperkirakan penurunan emisi CO₂, setara dengan 96,05 ton per bulan.

Studi ini memiliki beberapa keterbatasan penting. Temuan bergantung pada kondisi spesifik, seperti tingkat iradiasi matahari dan profil konsumsi energi. Analisis ekonomi juga dipengaruhi oleh tarif listrik dan insentif pemerintah yang dapat berubah. Keterbatasan data real-time di tingkat peralatan menyulitkan penilaian kinerja energi komponen individu dalam CAS. Penelitian masa depan perlu melakukan pemantauan jangka panjang untuk menilai keberlanjutan penghematan energi.

Kata kunci: Efisiensi energi, Sistem udara terkompresi, Energi surya, Pengemasan farmasi, Keberlanjutan, Energi terbarukan, Audit energi

ABSTRACT

ARIEF CANDRA (202391010). Study on Energy Efficiency Improvement Through Optimization of Compressed Air System and Integration of Solar Panels in Pharmaceutical Packaging Industry. Under the guidance of Dr. Aep Saepul Uyun, S.Tp., M.Eng., Ir. Erkata Yandri, M.Sc.rer.nat and Dr. Muhammad Syukri Nur, M.Si.

The pharmaceutical packaging industry faces significant challenges in achieving sustainable and cost-effective operations. This study investigates the potential for energy efficiency improvements and renewable energy integration within the sector, with a particular focus on the optimization of compressed air systems (CAS) and the integration of solar photovoltaic (PV) technology at a pharmaceutical packaging manufacturing plant in Bekasi, West Java, Indonesia. The study was conducted over a two-year period, from September 2021 to September 2023.

The study site was selected due to its high energy consumption and reliance on CAS, which was found to account for approximately 36% of total electricity consumption. In-depth analysis of the CAS identified an air dryer, due to its continuous operation. Consequently, the study also focused on the integration of a grid-connected solar PV system to offset the electricity consumption of the air dryer. Data collection involved continuous monitoring of energy consumption, air pressure, and machine operating hours.

The implementation of energy efficiency measures within the CAS, coupled with the integration of solar PV, yielded positive results. A 4% reduction in Specific Power Consumption (SPC) of the CAS was achieved, decreasing from 5.88 kW/m³/min to 5.65 kW/m³/min. Furthermore, the overall energy consumption of the CAS was reduced by 23%, from 472,402 kWh to 364,597 kWh per year. The solar PV system targeted at the Air Dryer contributed to an estimated cost saving of IDR 4.3 million per month or IDR 51.6 million per year, by reducing dependence on electricity from the grid. In addition, the study estimated a reduction in CO₂ emissions, equivalent to 96.05 tons per month.

This study has several important limitations. The findings depend on specific conditions, such as solar irradiation levels and energy consumption profiles. The economic analysis is also influenced by electricity tariffs and government incentives that are subject to change. The lack of real-time data at the equipment level makes it difficult to assess the energy performance of individual components in the CAS. Future research should conduct long-term monitoring to assess the sustainability of energy savings.

Keywords: *Energy efficiency, Compressed air systems, Solar energy, Pharmaceutical packaging, Sustainability, Renewable energy, Energy audit*

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

Judul Tesis : Studi Tentang Peningkatan Efisiensi Energi Melalui Optimalisasi Sistem Udara Terkompresi Dan Intergrasi Panel Surya di Industri Kemasan Farmasi
Nama : Arief Candra
NIM : 2023910010

Telah disetujui oleh komisi pembimbing dan penguji

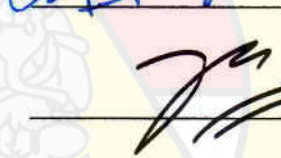
Dr. Aep Saepul Uyun, S.Tp., M.Eng.
(Pembimbing Utama/Penguji)



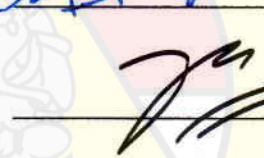
Ir. Erkata Yandri, M.Sc.rer.nat
(Anggota/Penguji)



Dr. Muhammad Syukri Nur, M.Si
(Anggota/Penguji)



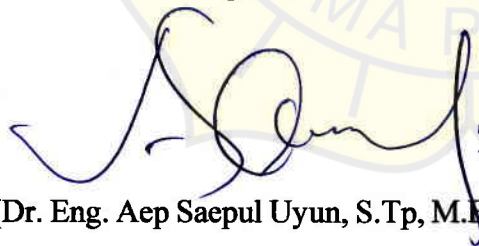
Dr. Andy Tirta, M.Sc.
(Anggota/Penguji)



Mengetahui

Ketua Program Studi

Direktur Pascasarjana



(Dr. Eng. Aep Saepul Uyun, S.Tp, M.Eng)

(Dr.Ir. As Natio Lasman)

Tanggal Ujian : 11 Juli 2025
Tanggal Yudisium :

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Wr. Wb., salam sejahtera bagi kita semua., Shalom, Om Swastiastu, Namu Buddhaya, Salam Kebajikan.

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas segala karunia dan ridho-NYA, sehingga tesis dengan judul “Studi Tentang Peningkatan Efisiensi Energi Melalui Optimalisasi Sistem Udara Terkompresi dan Integrasi Panel Surya di Industri Kemasan Farmasi” ini dapat diselesaikan. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang keahlian Teknik Energi Terbarukan pada program studi Sekolah Pascasarjana Energi Terbarukan Universitas Darma Persada (UNSADA).

Hasil dari riset ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan bagi industri manufaktur yang menggunakan udara terkompresi untuk proses produksi, perawatan mesin dan utilitas lainnya untuk bisa meningkatkan efisiensi energi dan penurunan emisi melalui optimalisasi penggunaan energi listrik untuk sistem udara terkompresi. Teknologi Konservasi Energi merupakan salah satu mata kuliah yang diajarkan di Sekolah Pascasarjana Energi Terbarukan Universitas Darma Persada (UNSADA). Dalam berbagai penelitiannya, Sekolah Pascasarjana Energi Terbarukan (UNSADA) belum ada yang secara spesifik membahas tentang optimalisasi energi listrik pada sistem udara terkompresi. Oleh karena itu, penulis memutuskan untuk mengambil penelitian ini sebagai upaya untuk mengisi kekosongan tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan biaya penggunaan energi listrik dengan cara optimalisasi sistem udara terkompresi dan memanfaatkan teknologi energi terbarukan, seperti panel surya (*PV*), sehingga industri ini dapat mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Dengan potensi energi surya yang cukup besar di Indonesia, diharapkan pemanfaatan energi surya dapat dimaksimalkan sebagai energi yang ramah lingkungan untuk menggantikan atau mengurangi penggunaan energi fosil yang cadangannya terus menurun.

Penelitian ini tentunya masih memerlukan perbaikan, namun dapat dijadikan referensi bagi siapa saja, khususnya mahasiswa/i Sekolah Pascasarjana Energi

Terbarukan (UNSADA) yang tertarik melakukan penelitian tentang peningkatan efisiensi energi melalui optimalisasi di kombinasikan dengan energi listrik tenaga surya dalam industri. Dengan keterbatasan pengalaman, ilmu, maupun pustaka yang ditinjau, penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki banyak kekurangan dan memerlukan pengembangan lebih lanjut agar benar-benar bermanfaat. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran agar tesis ini lebih sempurna serta menjadi masukan bagi penulis dalam penelitian dan penulisan karya ilmiah di masa mendatang.

Penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Eng. Aep Saepul Uyun, S.Tp, M.Eng, selaku Kepala Jurusan Pascasarjana Teknik Energi Terbarukan Universitas Darma Persada dan pembimbing utama yang telah memberikan arahan, saran, dan dukungan yang sangat berarti selama proses penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis dengan tangan terbuka menerima segala bentuk saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan karya ini. Akhir kata, penulis berharap tesis ini memberikan manfaat bagi kita semua, terutama untuk pengembangan ilmu pengetahuan yang dapat mendukung pengembangan energi terbarukan di Indonesia.

Jakarta, 11 Juli 2025

Arief Candra
NIM : 2023-91-0010

RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Jakarta pada tanggal 26 Januari 1971 dan menghabiskan masa kecil di Jakarta sampai saat ini. Lulus dari Sekolah Menengah Atas (SMA), penulis melanjutkan studi di Program Ekstensi Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia (PEFE-UI) dengan program studi Manajemen Operasional.

Pada tahun 2023, penulis menempuh studi magisternya di Universitas Darma Persada dengan program studi Teknik Energi Terbarukan. Selama menjadi mahasiswa pascasarjana di Unsada, penulis terlibat dalam pembuatan buku serta publikasi ilmiah. Adapun karya ilmiah yang penulis hasilkan selama menjadi mahasiswa pascasarjana adalah sebagai berikut:

Sebagai Penulis Utama (Jurnal)

- Optimizing Compressed Air Operations for Electrical Energy Savings: A Case Study in Pharmaceutical Packaging Manufacturing . DOI: 10.61975/gjsetv2i2.58

Buku

- Integrasi Teknologi dan Manajemen Untuk Efisiensi Energi Baru Terbarukan (ISBN: 978-623-297-670-2) ITB Press.

Demikian riwayat hidup singkat penulis, yang memuat perjalanan pendidikan dan profesional serta beberapa karya tulis yang sudah dipublikasikan.

Jakarta, 11 Juli 2025

Arief Candra
NIM : 2023-91-0010

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan penuh rasa syukur dan bangga, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusinya dalam penyusunan tesis ini.

Pertama, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan kekuatan yang telah diberikan kepada saya sehingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Selanjutnya, saya ingin menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada pembimbing tesis saya, Dr. Aep Saepul Uyun, S.Tp., M.Eng., Ir. Erkata Yandri, M.Sc.rer.nat., dan Dr. Muhammad Syukri Nur, M.Si

atas bimbingan, nasihat, dan motivasinya yang tiada henti selama proses penelitian dan penulisan tesis ini. Tanpa bimbingan beliau, tesis ini tidak akan bisa terselesaikan dengan baik. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada para dosen di Pascasarjana Teknik Energi Terbarukan Universitas Darma Persada yang telah memberikan ilmu dan pengalaman berharga selama masa studi saya.

Tidak lupa, saya mengucapkan terima kasih kepada keluarga tercinta, terutama almarhum kedua orang tua dan istri serta anak saya, yang selalu memberikan doa, dukungan moral, dan kasih sayang yang tak terhingga. Dukungan mereka adalah sumber kekuatan terbesar bagi saya.

Terima kasih juga kepada teman-teman sejawat dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, selama proses penyusunan tesis ini. Akhir kata, saya berharap tesis ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan dapat menjadi referensi bagi penelitian-penelitian selanjutnya. Semoga Allah SWT membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu saya.

Jakarta, 11 Juli 2025

Arief Candra

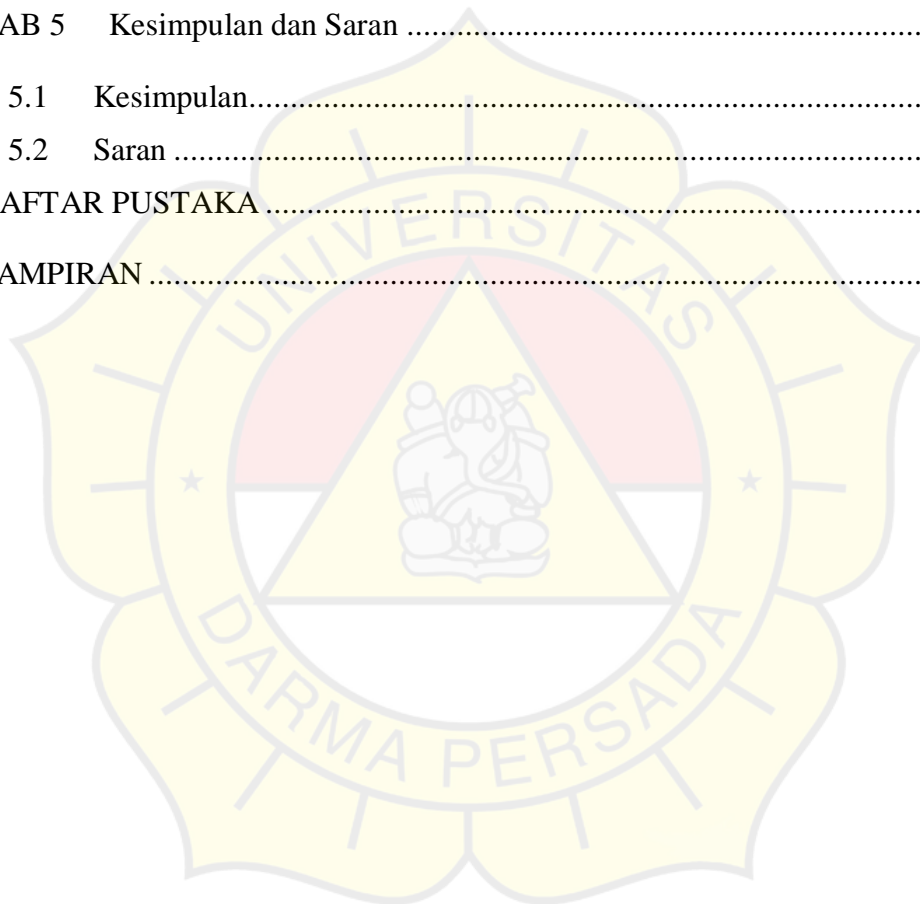
NIM : 2023-91-0010

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	vi
RIWAYAT HIDUP.....	viii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5 Sistematika Penelitian	4
BAB 2 Tinjauan Pustaka.....	5
2.1. Krisis Energi dan Dampaknya pada industri Manufaktur.....	5
2.2. Efisiensi Energi dalam Industri manufaktur.....	6
2.3 Penggunaan Energi Udara Terkompresi (CAS) dan Penghematan Energi ...	7
2.3.1 Strategi Komprehensif Penghematan Energi pada Sistem Udara Terkompresi (CAS).....	8
2.3.2 Sistem Monitoring dan Analisis	10
2.4 Energi Surya: Potensi Energi Terbarukan untuk Industri Manufaktur ...	13
2.4.1 Integrasi Energi Surya dalam Industri Manufaktur.....	13
2.4.2 Teknologi Panel Surya: Mengubah Cahaya Matahari menjadi Energi Listrik	14

2.4.3 Metode Integrasi dengan Sistem Energi Listrik: Memanfaatkan Energi Surya untuk Industri.....	15
2.4.4 Manfaat Ekonomi dan Lingkungan.....	17
BAB 3 Metodologi Penelitian.....	18
3.1 Kerangka kerja Proses Manajemen Efisiensi Energi Sistem Udara Terkompresi.....	18
Berikut ini penjelasan lebih rinci tentang kerangka kerja Proses Manajemen Efisiensi Energi Sistem Udara Terkompresi	19
3.1.1 Pengumpulan Data dan Analisa	19
3.1.2 Penentuan titik-titik perbaikan	20
3.1.3 Instalasi, Modifikasi, dan Pengukuran	22
3.2. Alur Proses Optimasi.....	22
3.3 Acuan Dasar (Base Line).....	25
3.4 Regresi Linear.....	26
3.5 Tempat dan Waktu	27
3.6 Bahan dan Alat.....	27
3.7 Pemanfaatan Tenaga Surya pada Sistem Udara Terkompresi.....	28
BAB 4 Hasil dan Pembahasan	31
4.1 Analisa Data Optimasi Udara terkompresi.....	31
4.1.1 Mengganti Unit dengan SPC yang Lebih Rendah dan Mengkonfigurasi Ulang Urutan Operasional.....	34
4.1.2 Menurunkan Pengaturan Tekanan Utama.....	35
4.1.3 Mengoptimalkan Aliran dan Konsumsi serta Tekanan di Titik Penggunaan.....	35
4.1.4 Ringkasan Hasil Optimasi Sistem Udara Terkompresi	39
4.2 Optimasi Konsumsi Energi Dryer Melalui Pemanfaatan Tenaga Surya	41
4.2.1 Profil Beban Pengering Udara (<i>Dryer</i>).....	41
4.2.2 Penilaian Potensi Energi Surya	42
4.2.3 Desain Sistem Terintegrasi dan Simulasi	43

4.2.4 Estimasi Penghematan dari Pemanfaatan Energi Surya untuk komponen Pengering Udara (Air Dryer)	46
4.2.5 Analisis Ekonomi	47
4.3 Analisis Dampak Lingkungan	48
4.4 Pembahasan dan Rekomendasi	49
4.4.1 Pembahasan.....	49
4.4.2 Rekomendasi	49
BAB 5 Kesimpulan dan Saran	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	61



DAFTAR GAMBAR

Gambar I. 1 36% Konsumsi Energi Listrik dan Biaya untuk Udara terkompresi (Compressed Air, CA), periode Desember 2020 hingga Mei 2022 (18 bulan)	2
Gambar II. 1 Komponen biaya dalam Sistem udara terkompresi	7
Gambar II. 2 Peluang Penghematan energi pada sistem udara terkompresi	9
Gambar II. 3 Contoh Perangkat Pemantauan (Monitoring Device)	12
Gambar II. 4 Tipe Modul PV	15
Gambar II. 5 Skema Sistem Fotovoltaik Surya Terhubung Jaringan (On-Grid)	16
Gambar III. 1 Proses Manajemen Efisiensi Energi Sistem Udara Terkompresi	18
Gambar III. 2 Format hasil pengumpulan data	20
Gambar III. 3 Data dan Diagram Komponen Sistem Udara Terkompresi dan Mesin Berdasarkan Titik Sumber dan Titik Pengguna	22
Gambar III. 4 Diagram Alur Proses Optimasi Sistem Udara Terkompresi	24
Gambar III. 5 Alat Pengukur konsumsi udara terkompresi (Flow Meter)	28
Gambar IV. 1 Perkembangan Baseline Diilustrasikan dalam Empat Grafik: (a) Konsumsi Listrik Pabrik, (b) Konsumsi Listrik Udara Terkompresi (CA), (c) Rasio Acuan Dasar (Baseline) Konsumsi Energi CA terhadap Jam Mesin Produksi, dan (d) Korelasi Antara Jam Mesin dan Konsumsi Listrik CA	33
Gambar IV. 2 Hasil optimasi konsumsi CA dan pengaturan tekanan di titik penggunaan (user point)	36
Gambar IV. 3 Perkembangan Acuan Dasar dalam empat Grafik: (a) Konsumsi Listrik Pabrik, (b) Konsumsi Listrik Udara Terkompresi (CA), (c) Rasio Dasar Konsumsi Energi CA per Jam Mesin Produksi.	38
Gambar IV. 4 Konsumsi Energi Listrik (kWh) sebelum dan sesudah proses optimasi Udara terkompresi di Titik Sumber dan Pengguna antara Total Pemakaian seluruh pabrik dan Sistem Udara Terkompresi	40
Gambar IV. 5 Diagram skema Suplai Energi Listrik untuk Pengerin Udara setelah memanfaatkan Tenaga Surya	45
Gambar IV. 6 Pengurangan Energi Listrik Fosil vs Emisi CO ₂ (Rata-rata per bulan)	48

DAFTAR TABEL

Tabel III. 1 Specific Power Consumption (SPC) Data (kW/m ³ /min).....	19
Tabel III. 2 Data Spesifik Komponen Pengereng Udara (Air Dryer)	29
Tabel IV. 1 Konsumsi Energi Udara Terkompresi dalam Hubungannya dengan Periode Operasi Mesin Produksi (Desember 2020 hingga Mei 2022).	32
Tabel IV. 2 Konfigurasi SPC setelah penggantian unit kompresor No. 2 dan No 3.	34
Tabel IV. 3 Proses penurunan/pengurangan tekanan pada titi sumber.....	35
Tabel IV. 4 Data Konsumsi Energi untuk Udara Terkompresi (Juni 2022 hingga Juli 2023).....	37
Tabel IV. 5 Ringkasan penghematan dari Juni 2022 hingga Juli 2023	39
Tabel IV. 6 Data Konsumsi Energi Listrik komponen Udara Pengereng	41
Tabel IV. 7 Radiasi Matahari Tahunan Rata-rata (Global Horizontal Irradiance - GHI), periode 05/14/2024 sd 05/14/2025 NASA POWER Data Access Viewer	42
Tabel IV. 8 Desain Sistem Terintegrasi dan Simulasi (On-Grid, Peak-Demand Focus): Pvsyst-Software.....	44
Tabel IV. 9 Estimasi Penghematan dari Pemanfaatan Energi Surya untuk komponen Pengereng Udara (Air Dryer)-Penghematan 4-6 Jam	46
Tabel IV. 10 Analisa Ekonomi Pemanfaatan Energi Surya untuk komponen Pengereng Udara (Air Dryer)-Penghematan 4-6 Jam.....	47
Tabel IV. 11 Rincian biaya investasi Pemanfaatan Energi Surya untuk komponen Pengereng Udara (Air Dryer)	47

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Arti	Pemakaian pertama kali pada halaman
CAS	Compressed Air Sistem	Abstrak
PV	Photovoltaic	Abstrak
SPC	Spesific Power Consumption	Abstrak
kWh	KiloWatt hour	2
UU	Undang-undang	6
VSD	Variable Speed Drive	9
kPa	Kilo Pascal	12
DC,AC	Direct Current	18
RH	Running Hour	21
LPM	Liter Per Menit	21
IT	Information Technology	25
IDR	Indonesia Rupiah	27
kWp, Wp	Kilo Watt peak, Watt peak	46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Flow_Pressure_Measurement_Data.....	61
--	----

